EL EFECTO INVERNADERO
Y EL CLIMA

ING. ROBERTO MAISONNAVE

Conferencia realizada para la Academia Nacional de Ingeniería el dìa 28 de octubre de 1997 en el Salón de Actos del Ministerio de Educación y Cultura

I N D I C E

INDICES DE FIGURAS

EL EFECTO INVERNADERO Y EL CLIMA

Introducción

El aumento de la temperatura media global que se viene constatando en este siglo y que continuaría en los próximos decenios, preocupa al mundo científico y genera inquietudes en los más diversos ámbitos.

El hecho en sí no merecería mayor atención si no fuera por las eventuales consecuencias sobre el clima. Y a partir de éstas sobre la producción de alimentos, la salubridad mundial, la economía en general y aún las presiones migratorias.

Debido a la incertidumbre sobre el alcance de tales efectos -que podrían adquirir proporciones apocalípticas- los esfuerzos se dirigen actualmente a inferir la localización, la cronología y la intensidad probable de los cambios climáticos. Esto es necesario a fin de guiar las decisiones políticas adecuadas para evitar, mitigar o paliar de alguna manera sus consecuencias negativas.

A las incertidumbres prevalecientes en cuanto al clima, se suman las relativas a la evolución de la población, las producciones de alimentos, energía y otros bienes, la deforestación, la extinción de especies, los avances de la tecnología, etc.

Todos estos aspectos están relacionados entre sí y con el clima.

Los efectos del calentamiento dependen de la velocidad con que se produzca. También las posibilidades de limitarlo y en definitiva las decisiones políticas a tomar.

Sería muy diferente la situación a enfrentar en el caso de un aumento de 0,5 ºC o de 1,5 ºC dentro de 50 años por ejemplo. Estos valores corresponden a los aceptados actualmente, mientras que hace pocos años los extremos calculados variaban entre 1 y 5 ºC en el mismo plazo aproximado, según diferentes modelos.

Conviene recordar que esos son valores globales que no se distribuyen uniformemente en el espacio ni en el tiempo. Difieren con la latitud, las estaciones, la topografía, entre otras circunstancias.

Resulta clara la importancia de cuantificar, hasta donde sea posible, la evolución probable del clima en escala regional. Entiéndase que se trata de pronosticar, con razonable certidumbre, las características climáticas estadísticas regionales. Es el sentido preciso del término clima, no es la predicción meteorológica puntual.

Resulta obvia la relación esencial con otro tema de interés actual, el desarrollo sustentable.

La formulación de políticas dirigidas al logro del desarrollo sustentable debe considerar los probables efectos de los cambios climáticos sobre poblaciones y recursos, para evitar que los esfuerzos a realizar resulten estériles o extemporáneos.

De otro modo podrían frustrarse las lógicas aspiraciones de la humanidad. En particular las de los numerosos países emergentes, que además enfrentan un inquietante aumento demográfico.

El interés científico actual se dirige principalmente a develar el efecto del calentamiento global sobre las alteraciones climáticas regionales y sus consecuencias ecológicas. Es decir los efectos sobre la vida vegetal, animal y la humana en definitiva: pluviosidad, temperatura, humedad, erosión, nivel del mar, cubierta vegetal, adaptación de las especies, cadenas tróficas, etc.

Algunas definiciones

No es ocioso precisar el significado de algunos términos que se han vulgarizado. Estos términos son usados y abusados con los fines más diversos.

“Efecto invernadero”: aumento de temperatura en la biosfera, causado por la atmósfera. Sin la presencia de los efectos térmicos de la atmósfera, la temperatura media debida a la radiación solar y al calor interior de la tierra, sería de 18º C (255 º K). Las propiedades de ciertos gases en la atmósfera elevan esa temperatura media global a + 15ºC (288ºK).

“Gases de invernadero”: dichos gases son en orden de importancia de sus efectos: vapor de agua; CO_2; (CFC)x ; CH_4; N20 y 03. Otros gases, incluidos el N_2 y el O_2, tienen una influencia térmica ínfima. (Fig.1)

Gas	CO_2	$(CFC)_x$	CH_4	N_2O	O_3	otros	
Efecto	46	25	13	8	4	4	% δ T
Vol.	365	0,001	1,8	0,32	0,05 ?		ppm
δ / año	0,5	4	0,9	0,25	?		%
R *	1	16000	32	150	2000		

* R - poder emisor

GASES DE INVERNADERO

Figura 1 - Gases de Invernadero

El efecto respectivo es aproximadamente: 46%; 25%; 13%; 8% y 4%. El 4% restante corresponde a otros gases. No se incluye aquí el vapor de agua.

“Albedo” es el reflejo de la radiación solar por la atmósfera y por las superficies del globo terráqueo. Se produce principalmente por las nubes, el polvo volcánico, el levantado por el viento y el producido por actividades humanas, la nieve, el hielo y las superficies acuáticas y terrestres. Es mayor en los desiertos que en las zonas cubiertas por la vegetación. El SO2 en la atmósfera también incrementa el albedo.

El aumento de los gases de invernadero

El aumento de la temperatura ya había sido estudiado por Svante Arrhenius quien hacia 1869 calculó que una duplicación del CO2 en la atmósfera produciría un aumento de temperatura de entre 4 y 6ºC.

Se poseen datos de registros de temperatura de los últimos 100 años. Convenientemente depurados y estandarizados permiten determinar un valor medio global relativamente confiable.

A partir de estos datos se observa un aumento de 0,5 ºC aproximadamente. (Fig.2)

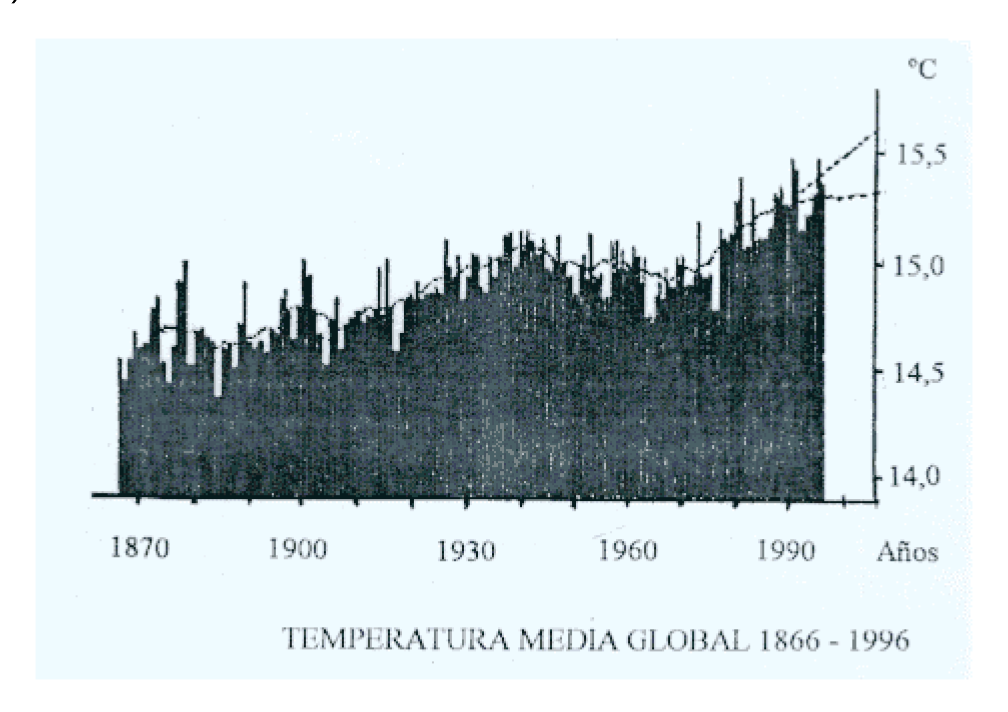


Figura 2 - Temperatura media global 1866-1996

En ese mismo período han aumentado en la atmósfera el CO_2 un 20%; el CH_4 un 100%; el N_2O un 10%. Más recientemente han aparecido los clorofluorocarbonos o CFC, Freon 11 y Freon 12 principalmente.

La causa del aumento de esos gases en la atmósfera es claramente la actividad humana: calefacción, industria, agricultura y transporte. Causa y a la vez efecto de la triplicación de la población desde la década del 20. (Fig. 3)

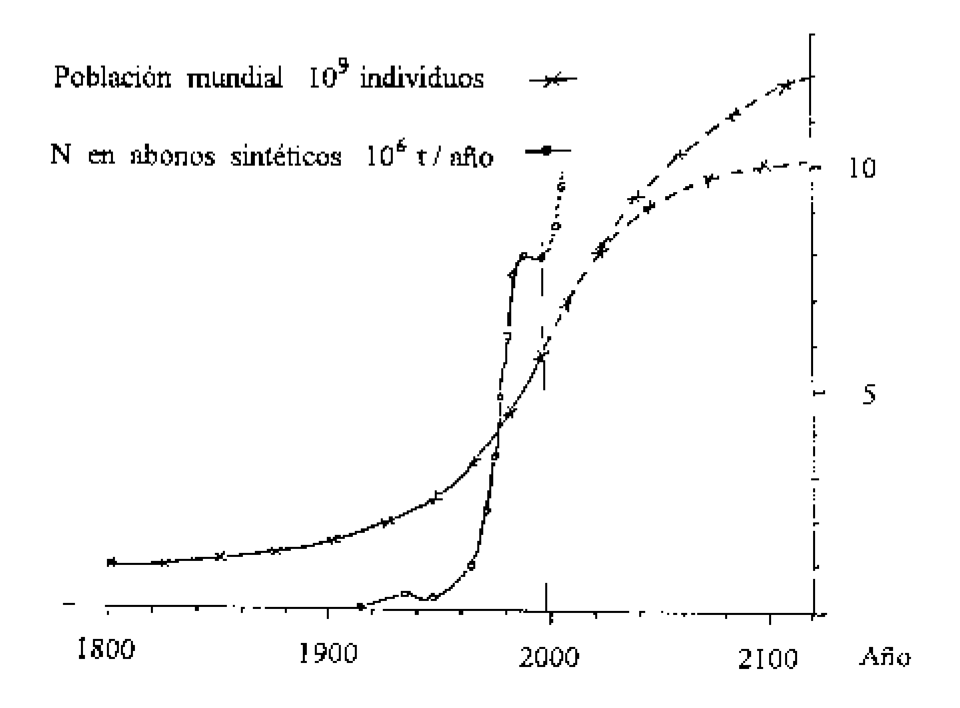


Figura 3 - Poblacion mundial

Los modelos matemáticos

El estudio del cambio climático se apoya en los modelos de circulación global atmósfera-océanos, en los registros climáticos existentes y en las interacciones físico-químicas entre la atmósfera, los océanos y las superficies continentales, la radiación solar y el movimiento giratorio del globo.

Las interacciones físico-químicas están mediadas en buena parte por las actividades biológicas, función clorofiliana, respiración, alimentación, etc., de las especies vivientes.

El desarrollo actual de las grandes computadoras permite manejar cantidades enormes de datos en modelos numéricos de simulación extremadamente complejos.

Los datos provienen de los registros meteorológicos del pasado y los que se recogen por medio de los satélites meteorológicos y otros que orbitan la tierra desde la década de los sesenta.

Se intenta un pronóstico climático de 50 o 100 años y los fenómenos a investigar responden a períodos que van de días a milenios y aún más. Se comprende que los datos climáticos y meteorológicos de unos pocos años, a lo sumo algunos decenios, no permiten alcanzar un grado de certeza adecuado a los objetivos perseguidos, esbozados anteriormente. En particular, la consecusión del desarrollo sustentable.

Las características que interesan son las que permiten definir el clima. En especial las probabilidades de valores medios y extremos, duración, frecuencia, etc., referidos a temperatura, humedad, lluvia, nubosidad, viento, insolación, nivel del mar, corrientes oceánicas, etc.

La confiabilidad de los modelos se comprobará en la medida y grado en que resulten ajustadas las simulaciones del clima del pasado. Y para evitar sorpresas es conveniente remontar bastantes siglos.

Pero también es importante analizar las relaciones de causa a efecto. Las relaciones deducidas de estadísticas no suelen aclarar este aspecto. A veces ni aún cuando hay un defasaje en el tiempo. Es necesario determinar los procesos físicos, químicos y biológicos que puedan explicar esas relaciones de causa a efecto.

Interesa por tanto investigar el clima del pasado y los procesos o circunstancias prevalecientes, y compararlos con lo que ocurre en el presente.

El clima del presente y del pasado

Para mejor ilustrar el problema conviene recordar ciertos fenómenos climáticos interesantes.

El Niño. Este mentado fenómeno es un ejemplo notable de las interacciones océano-atmósfera y sus consecuencias.

En la zona ecuatorial del océano Pacífico los vientos soplan normalmente del Este. Así empujan las aguas superficiales cálidas hacia la Polinesia. Al Este, en las costas del Perú afloran las aguas frías de la corriente profunda proveniente del Sur del Pacífico. Las aguas frías en el Este y cálidas en el Oeste inducen parecida variación de temperatura en el aire. Se forma un centro de altas presiones en el Este y uno de bajas en el Oeste que refuerzan los vientos del Este. (En el Pacífico sur y Oceáno Indico respectivamente).

En ocasiones, con intervalos de entre 3 y 8 años, esos vientos se debilitan en grado variable y en la Primavera del Hemisferio Sur las temperaturas del agua superficial resultan menos bajas en el Este y menos altas en el Oeste. Simultáneamente se produce una alteración de las presiones atmosféricas que acentúa la debilidad de los vientos.

A la vez, las aguas algo más cálidas que lo normal dificultan o impiden el ascenso de las aguas frías profundas, lo que perjudica la pesca, en la costa del Perú.

La anomalía va acompañada de perturbaciones climáticas de alcance global. Estas perturbaciones no siempre tienen la misma distribución ni intensidad.

En los años 82-83 el fenómeno fue particularmente intenso y produjo pérdidas estimadas en más de 10000 millones de dólares en daños por inundaciones, en cosechas y pesquerías, propiedades, etc.

Al presente se está desarrollando un episodio tanto o más intenso que el de 1982-83, pero no hay una explicación de las causas que determinan el comienzo y el final de la anomalía, ni sus irregularidades.

Las manchas solares cumplen ciclos con período de cerca de 11 años, con máximos y mínimos del número de manchas, casi nulo en estos últimos.La luminosidad, el viento solar, las erupciones magnéticas, etc., acompañan los ciclos con máximos coincidentes con los del número de manchas.

Durante los mínimos de actividad, disminuye el número de partículas ionizadas que constituyen el viento solar. Los campos electromagnéticos que acompañan a esas partículas, que alcanzan la atmósfera, producen diversos efectos sobre esta y sobre el campo magnético terrestre.

También protegen a la tierra de los rayos cósmicos en cierto grado. El choque de las partículas cósmicas con los núcleos de nitrógeno atmosférico produce 14C, un isótopo del carbono normal 12C. El CO_2 atmosférico contiene 14C en proporción a la incidencia de la radiación cósmica. De allí pasa a los árboles

para formar los tejidos que componen el tronco. Analizando la proporción 14C/12C de los anillos de crecimiento anuales es posible comparar y completar registros de la actividad solar en el pasado con árboles como los secoyas gigantes de California, que tienen unos 2000 años de vida. Y también en fósiles vegetales.
Esos registros permitirán verificar la evolución de la actividad solar anterior al registro del número de manchas solares. Este se inició con la invención del telescopio (1608).

El registro señala una casi total ausencia de manchas entre 1645 y 1715 aproximadamente, y se insinúan dos mínimos de 1795 a 1825 y de 1875 a 1915.

El intervalo 1645 a 1715, conocido como Mínimo de Maunder, coincidió con una época de fríos muy intensos en Europa.

Estudios de simulación efectuados en el Laboratorio de Meteorología Dinámica de París y otros indican que durante un período como el Mínimo de Maunder la disminución de la radiación solar puede causar un descenso de temperatura media global de 1 a 2 ºC, suficiente como para explicar los fríos intensos de Europa durante ese Mínimo.

El satélite Nimbus 7 en la Misión del Máximo Solar y Balance de Radiación de la Tierra, permitió medir con precisión la radiación solar incidente sobre la atmósfera y la emitida por la Tierra fuera de la atmósfera. La medida desde la superficie terrestre resulta afectada por la absorción de la atmósfera, muy variable, el reflejo de las nubes, etc. Por lo tanto antes no se podía establecer con suficiente precisión la intensidad de la radiación solar ni su variabilidad, como para relacionar sus efectos con características climáticas.

Además, el sol esta siendo auscultado por el satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) en órbita alrededor del Sol desde el 14/II/96. Es una misión conjunta de la NASA y la ESA. Se espera que dure más de 10 años. Posee 12 instrumentos que registran desde las oscilaciones de baja frecuencia y radiación en varias longitudes de onda, hasta el ultravioleta extremo, y analiza las partículas del viento solar.

Esta información permitirá avanzar conocimientos sobre la influencia solar en el clima.

Una posible periodicidad de mínimos similares al de Maunder -del orden de cientos de años- podría así llegar a ser pronosticable.

Las periodicidades irregulares como la del fenómeno de “El Niño” y la de mínimos solares son frecuentes en la naturaleza. Se deben a la superposición de varios fenómenos cíclicos -más de dos- con períodos muy diferentes.

La periodicidad de 11 años en el número de manchas solares podría deberse a la existencia de dos procesos magnéticos solares superpuestos con períodos de 10 y 12 años. Cada 120 años la amplitud o intensidad se anula.

Las corrientes oceánicas tienen influencia sobre el clima. La corriente del Atlántico Norte, se dirige hacia el Mar de Noruega. Relativamente cálida y de alta salinidad emerge a la latitud de Islandia. Libera calor enfriándose de 10 hasta 2ºC antes de sumergirse nuevamente al adquirir mayor densidad. El gran caudal -20 veces el de la suma de todos los ríos del globo- hace que la cantidad de calor liberada temple el clima del Norte de Europa y del Noroeste de América.

Hace 14000 años, cuando ya estaba avanzado el deshielo de la última glaciación, comenzó esa corriente para interrumpirse hace 11000 años.
La interrupción duró unos 1000 años. En sólo 100 las regiones al Noroeste de América y el Norte europeo sufrieron una nueva glaciación.

Luego, en sólo 20 años terminó esta nueva glaciación (duró unos 900 años y es conocida como Joven Dryas).

El caudal de deshielo de la región central de Canadá desaguaba por el río Mississippi. En cierto momento por retirada de los hielos al Este, el desagüe se desvió hacia el río San Lorenzo y el agua helada y dulce cambió las condiciones de la corriente del Atlántico Norte según una hipótesis sobre este fenómeno.

Poco se conoce sobre las corrientes profundas del océano, que tienen importancia en dos de los casos comentados: El Niño y el Joven Dryas.

Estas corrientes son muy difíciles de observar, medir y registrar. Existen ciertas investigaciones basadas en la producción de sonidos y su registro en varios lugares a cierta distancia unos de otros, todo a profundidad conveniente. Si se quiere es una ecografía de efecto Doppler computada como tomografía. Simultáneamente se recogerían datos de temperatura, composición salina, etc., que se agregan a los obtenidos: velocidad y dirección.

Los conocimientos relativamente recientes de la topografía de los fondos oceánicos permitirían completar el panorama que aparentemente es mucho más complejo de lo que se podría suponer.

El nivel oceánico

Si bien el tema podría no parecer relacionado al clima, está vinculado con el calentamiento global y su proyección al próximo siglo.

Por otra parte, el gran número de ciudades costeras, playas y puertos que resultarían afectados por una variación de nivel, hace imperiosa su consideración por los responsables involucrados.

Durante una noche de 1953, una tormenta de vientos sostenidos y la marea se combinaron en el Mar del Norte provocando una subida excepcional del nivel marino en las costas de los Países Bajos. Más grave que lo que sucede en nuestra costa platense pero similar.

En las regiones bajas -pólder- protegidas por diques de arena y tierra, estos fueron desbordados por las aguas y, erosionados desde atrás, cedieron. La inundación violenta que siguió causó unos 2000 muertos, 700 000 ha. anegadas y 100 000 personas sin vivienda. Como ocurrió durante la noche los avisos no fueron escuchados por las víctimas.

El aumento de la temperatura media global provocará la dilatación del agua oceánica lo que se presume conduciría a un aumento de 30 cm del nivel medio en 100 años. En los últimos 100 años el aumento quizás fue de 5 cm.

Los hielos continentales se derritirían a mayor ritmo y agregarían algunos decímetros más.

Los hielos del Mar de Ross, en la Antártida, constituye una enorme masa que ocupa cerca de 800 000 kilómetros cuadrados de área. Por ser inestable se

estima que resultaría desintegrada si la temperatura sube 5ºC en la región. Este aumento corresponde a uno global de unos 2ºC según los resultados de los modelos de circulación.

La consecuencia sería un aumento del nivel oceánico de unos 3 metros.

Pero los mismos modelos indican la llegada de masas ingentes de aire húmedo proveniente de la evaporación incrementada de los océanos. Al enfriarse sobre la Antártida, depositarían gran cantidad de nieve.

No se sabe que prevalecerá: el volumen de agua evaporada de los océanos retenida como nieve sobre el casquete o el de la fusión de los hielos. La tendencia puede ser diferente en distintas épocas sucesivas.

Está previsto para el 2002 el lanzamiento de un satélite capaz de medir con gran precisión el nivel de los hielos en los casquetes polares (como el Surveyor de Marte). Además se vigilan estos hielos con el satélite Okean - 01 N7 desde octubre de 1994.

La medición del nivel oceánico mediante escalas y mareógrafos se ve perturbada por el movimiento vertical de los continentes, que están rebotando de las depresiones sufridas durante la última glaciación, y por la inclinación producida en las placas tectónicas continentales por la subducción de las placas oceánicas. Todo ello altera las referencias de las escalas en grado no despreciable de hasta varios mm/año.

Al presente hay acuerdo en que el nivel oceánico sube 2 mm/año actualmente.
Pero hay indicios que en los últimos 4 o 5000 años hubo cambios bruscos del ritmo de variación. Hace 2000 años el aumento era de 0,2 mm/año. Pero antes

hubo períodos de crecimiento de más de 10 mm/año. Interesa por tanto investigar en el pasado, como en tantas otras cosas.

Actualmente, el Grupo Intergubernamental del Cambio del Clima considera que para el final del próximo siglo se habrá alcanzado un aumento de nivel de entre 20 cm. y 1 m. La primera cifra iguala a lo ocurrido en el último siglo que continúa hoy al mismo ritmo. La segunda implica serios problemas.

En los Países Bajos, la opinión de los responsables (John G. De Ronde M.T.O.P.) es que pueden manejar cualquier situación entre esos extremos. Y hasta unos 60 cm los costos no serían excesivos.

Diferente es la perspectiva para otros países de costas bajas que no disponen de técnicos especializados, equipos ni tradición como Holanda. Especialmente en los que tienen bajos recursos y poco desarrollo.

Precisamente algunas de las zonas más densamente pobladas del mundo son costeras.

Aumento de población

Las proyecciones demográficas indican una estabilización de la población mundial alrededor de 10 a 12000 millones de individuos quizás al final del próximo siglo. Esto significa una duplicación de la población actual.(Fig.3)

Las naciones en desarrollo y las no desarrolladas demandarán cada vez más energía y más alimentos lo cual se sumará al crecimiento de demanda derivado del aumento de población.

Aunque se logre un incremento pronunciado en la eficiencia del uso de los recursos para la producción de ambos insumos, aumentará la difusión de gases de invernadero, particularmente CO_2 y N_2O. Proseguirá la deforestación quizás a mayor ritmo que el actual y las tierras agotadas podrán desertificarse.

No hay dudas sobre la influencia de las selvas en el clima y como reservas de carbono y fijadoras de CO_2.

El aumento de cultivos de arroz y el incremento de los rebaños de rumiantes contribuirán al aumento del CH_4 en la atmósfera.

El uso de fertilizantes nitrogenados y la rotación del cultivo de leguminosos para mantener la productividad de la tierra contribuirán al aumento del N_2O.

Los aminoácidos son esenciales para la vida. Contienen una proporción de N variable, obtenido del medio ambiente por ciertas bacterias (rhizobia y cyanobacteria) o de los abonos y sustancias orgánicas por las plantas. Los animales sólo lo pueden obtener alimentándose de plantas u otros animales.

Los cultivos reiterados agotan las sustancias nitrogenadas del suelo y tradicionalmente el uso de residuos orgánicos sirvió para reponerlo. También las leguminosas que tienen en sus raíces bacterias específicas del género rhizobium, o los helechos del género azolla asociados a las cyanobacterias, se usan con el mismo fin mediante la rotación de cultivos.

De esa forma se llega a un límite teórico de 15 habitantes por ha de tierra cultivable. En los hechos no pasa de 5 o 6 habitantes por razones de eficiencia, clima, otros nutrientes disponibles en la tierra, pestes, necesidad de cultivos con fines industriales, etc.

Hacia 1900 en Europa y hacia 1950 en Asia, se incrementó la población por ha de tierra arable por encima del límite sustentable con la agricultura orgánica.

Hacia 1890 ya se comenzó a usar en Europa guano de Perú (Islas Chincha, se deposita por las aves y permanece por que no llueve), nitratos solubles de los desiertos de Chile (donde no llueve) y otros recursos menores como las cianamidas sintéticas, y el sulfato de amonio derivado de la producción de coke metalúrgico.

La síntesis del amoníaco a partir de N y H (por catálisis a presión y temperatura) se industrializó a partir de 1913 en Alemania a fin de asegurar suficiente provisión de explosivos previendo la 1era. Guerra Mundial y el bloqueo consiguiente.(Fig.3)

Hacia 1950 comenzó la producción en gran escala de fertilizantes a partir del amoníaco.

Se calcula que actualmente 1/3 de la proteína consumida por la humanidad proviene de los fertilizantes sintéticos. El resto proviene de pastoreos naturales, pesca y abonos orgánicos.

Los países de alta población y poca tierra arable dependen de los abonos sintéticos para subsistir (Bangladesh, China, Egipto, Filipinas, Indonesia).

En otros países se usan fertilizantes sintéticos para incrementar los rendimientos de cereales y pastoreos.(USA, Europa, etc.)

La técnica de uso predominante pierde el 50% del N por disolución pluvial, erosión, infiltración a las capas freáticas y difusión directa a la atmósfera, en forma de NO_2 y NO ó NH_3, que pasan a N_2O en gran parte.

El agua deja de ser potable. En lagos donde se concentra el exceso de fertilizantes, se produce la eutroficación. El exceso de algas y cyanobacterias consume el oxígeno disuelto provocando la mortandad de otras especies. Se refuerza el efecto de la lluvia ácida. El N_2O que escapa a la atmósfera descompone el O_3.

Como gas de invernadero ocupa actualmente el 4to. lugar con un efecto del orden de 8% sobre el aumento de temperatura. Su poder emisor es 150 veces superior al del CO_2. (Base mol)

Otro efecto indeseable es la destrucción de la vida marina, en especial los corales y foraminíferos que normalmente fijan y depositan en el mar ingentes cantidades de CO_2 como carbonato de calcio. En la desembocadura del Mississippi en el Golfo de México se forma una zona anóxica de 18000 km^2, por efecto de las sustancias nitrogenadas arrastradas de la cuenca.

Se calcula que anualmente se agregan a la atmósfera en N_2O:

* por fertilizantes sintéticos	80 millones de toneladas
* por cultivo de leguminosas y combustibles quemados en aire y N propio	60 millones de toneladas
* por fijación natural global en la tierra	90 a 140 millones de toneladas
* por los rayos directamente en la atmósfera	100 millones de toneladas

El crecimiento anual de N_2O en la atmósfera era de 0,25 % en 1990. (CO_2 0,5 %; CH_4 0,9 %)

Si bien en 1995 la fabricación de fertilizantes se redujo en 3 % respecto del máximo, ahora habia vuelto a crecer y es probable que continúe creciendo por la presión demográfica, como análogamente lo hará el CH_4.(Fig.3)

Investigación en el pasado

Como señalé, el clima del pasado, combinado con otros datos como el nivel del mar, la temperatura, el tenor del CO_2 en el aire, etc., permitiría verificar y calibrar los modelos de simulación, fundamentalmente en vistas al pronóstico de muy largo plazo (50 o 100 años).

Todavía los modelos no alcanzan suficiente detalle como para describir tormentas, formación y evolución de nubes, etc, que serán de importancia en el clima regional.

Además, el conocimiento de los procesos climáticos es aún incompleto por que las series de datos abarcan un período relativamente breve y estable. De ahí la importancia de ahondar en el pasado.

Comparando las informaciones deducidas de diversos orígenes y procedimientos, es posible verificar la confiabilidad de las hipótesis de base de los modelos o ponderar nuevas conjeturas.

Los fósiles de corales, foraminíferos, polen, residuos de vegetales y animales, (en depósitos aluviales, eólicos, glaciares, detritos costeros o de fondos lacustres y marinos, etc.) en diversas partes del mundo, pueden datarse por radioisótopos y permiten trazar un esquema de las condiciones climáticas, en que se desarrollaron.

Datos como la temperatura reinante, el nivel del mar y la acumulación de hielo en los casquetes antártico y de Groenlandia, se pueden deducir del estudio de los isótopos del oxígeno en los testigos de hielo y de depósitos bentónicos de conchas de foraminíferos. El contenido de CO2 y otros gases en la atmósfera puede deducirse de las pequeñas burbujas atrapadas en los testigos de los hielos. (Fig. 4)

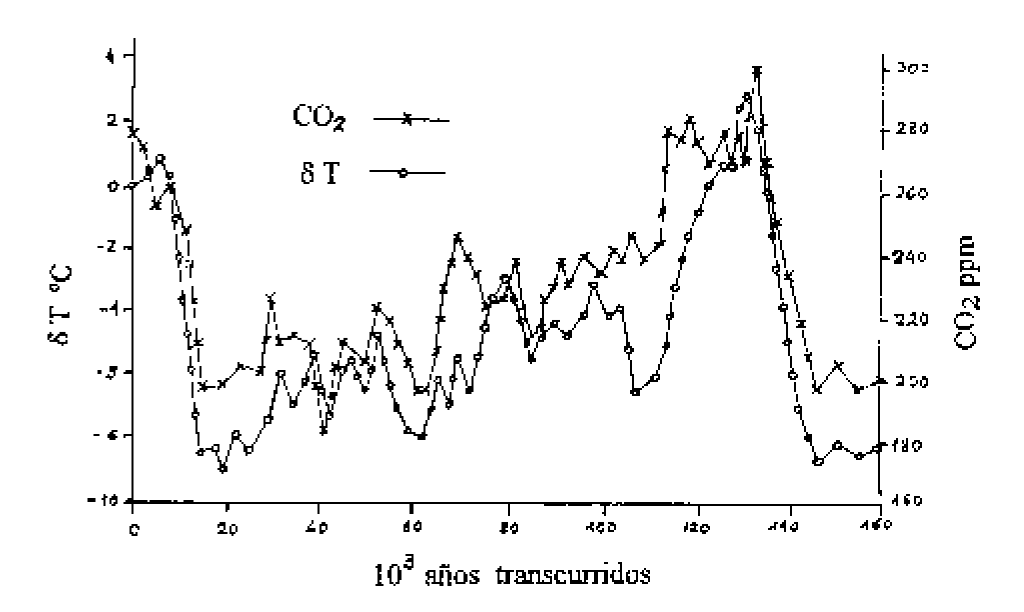


Figura 4 - CO2 en aire atrapado en el hielo/temperatura

Curiosamente, la temperatura bajó antes que el CO2 atmosférico en varias ocasiones en los últimos 130000 años.

El descenso del nivel del océano se produce por que el agua evaporada que se deposita como nieve sobre los hielos continentales,supera a la de fusión de estos. La menor tensión de vapor de agua compuesta por el isótopo pesado del oxígeno (18) respecto de la del agua con el isótopo normal del oxígeno (16) hace que sea proporcionalmente menor su contenido en el agua evaporada. Por tanto, a menor nivel, o sea volumen oceánico, mayor proporción de isótopo (18). Así, la proporción de este oxígeno en el carbonato de calcio de fósiles-convenientemente datado-permite deducir indirectamente el volumen de hielo continental acumulado para esa data y de allí el volumen y nivel oceánicos.

La datación por carbono (14) de residuos fósiles vegetales y animales en antiguas riberas oceánicas fue comparada con el método anterior hasta los 30000 últimos años, que comprende los 10 o 12000 años finales de la última glaciación. Para la correspondiente variación de nivel de más de 100 m, las diferencias son apenas de 10 m en más o en menos.

Se extraen testigos coralinos en el centro del Pacífico Ecuatorial (Polinesia) para determinar la temperatura del agua en el momento en que vivieron, por la vinculación de ese factor con su crecimiento. Los testigos de una perforación de 4 m., correspondiente a unos 500 años últimos, permitirán estudios sobre la historia del fenómeno de “El Niño” entre otras informaciones muy valiosas. (Sería algo similar al estudio de los anillos anuales de los troncos de árboles)

Los corales viven a poca profundidad. Su datación permite deducir el nivel del mar contemporáneo. El análisis de oligoelementos permite determinar la salinidad y otras características del agua en que se formaron.

Una perforación en los hielos de las riberas del Mar de Ross permitirá ampliar los conocimientos sobre la fase cálida de 20000 años, entre las dos últimas glaciaciones (conocida como Fase 5 e de Emiliani: 130000 a 110000 años). Esa fase pudo ser similar al presente (18000 años desde la última glaciación). Si en ese lugar existen o no hielos de ese período, podrá arrojar más luz sobre la evolución del deshielo y del nivel oceánico entre otros datos de interés climático.

Efectos regionales

Precisamente en estos efectos radica el mayor interés frente a las posibilidades de adaptación de la producción de alimentos, la urbanización, etc.

En principio, si aumenta la temperatura en la superficie del globo deberá aumentar la evaporación para restablecer el balance de la radiación terrestre.(recibida - emitida)

La condensación en la atmósfera aumentará la nubosidad, el albedo y la pluviosidad, pero no de manera uniforme. Aumentarán las inundaciones.

En tierra, la mayor temperatura acelerará la desecación, al menos en las regiones donde no se de más nubosidad o lluvias.

Las capas oceánicas superficiales perderán parte del CO2 disuelto al aumentar la temperatura. Esto podría limitar la producción de plancton, primer eslabón de la cadena trófica, resultando en una reducción de la producción de proteína marina, de pesca, provocando una escasez de tal alimento.

El aumento del CO_2 atmosférico puede compensar en parte esa reducción. Junto con la mayor disponibilidad de agua dulce para riego permitiría aumentar la producción de alimentos en tierra.

El aumento de nubosidad traerá como consecuencia un aumento del albedo. Esto mitiga el calor de día y la nubosidad el frío de la noche. También habría menos heladas lo que favorecería ciertas cosechas pero perjudicaría las plantas perennes y aumentaría las pestes en vegetales y animales.

Los modelos muestran mayor calentamiento en las zonas frías que en las tropicales (5º C y 1º C). Como resultado, al haber menores diferencias de temperatura disminuirían las tormentas huracanadas. Esa tendencia ya se ha comprobado en el Atlántico Norte y parecería también en el Caribe. La impresión del público puede ser otra por el aumento de población y de comunicaciones, en los últimos 50 años.

Pero el camino que habitualmente siguen esas tormentas se alteraría y afectaría zonas que no están preparadas para soportarlas.

El cambio de precipitaciones podrá tener variaciones importantes según las regiones. En los pasados 100 años el cambio se distribuyó irregularmente, aunque la latitud tuvo gran influencia. En general aumentó hacia los polos y disminuyó hacia el Ecuador, hasta en un 20 % en más y en menos respectivamente.

La adaptación de los vegetales a estos cambios es ciertamente muy lenta. Muchas especies podrían desaparecer por esta causa. Las especies animales, si bien podrían migrar, en muchos casos dependen de vegetales específicos. Se extinguirán también algunas especies animales.

Los días de frío en general disminuirán, se acortará el invierno y moderará la temperatura mínima. Los días cálidos sufrirán el proceso inverso y podrán sobrevenir olas de calor, a veces con consecuencias graves. Esto ya se ha comprobado. En Australia disminuyeron los días con heladas.(Fig. 5). En Rusia el mínimo aumentó 1,5 ºC pero el máximo en cambio no ha sufrido variación. También la distribución de estos cambios tendrá muchas irregularidades.

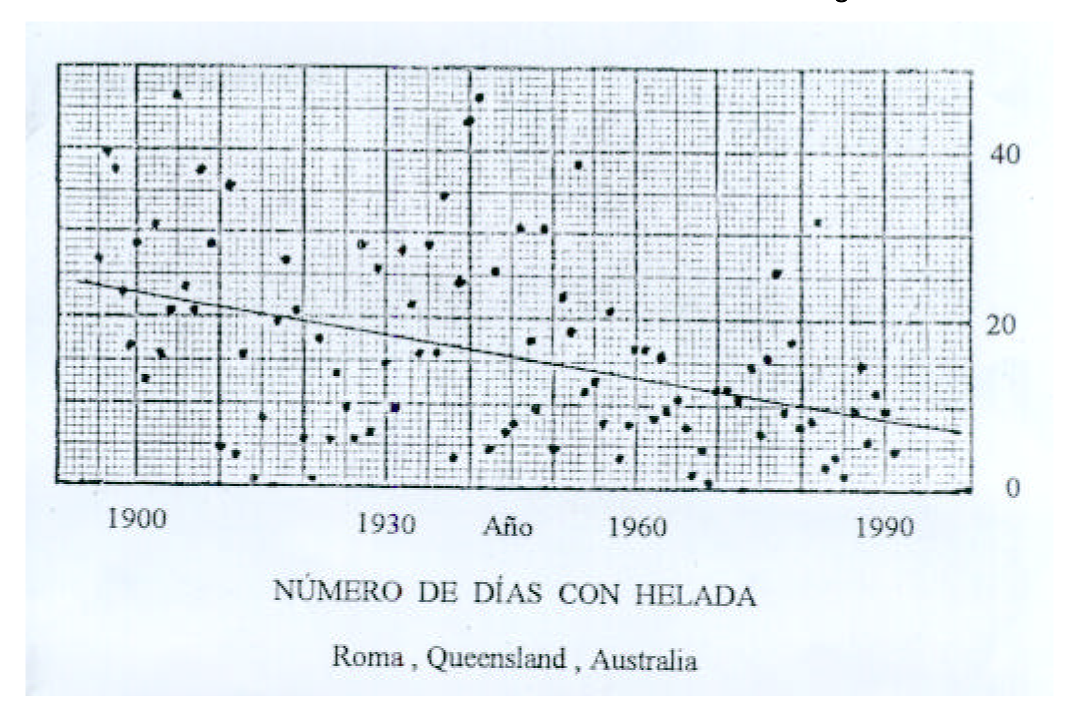


Figura 5 - Numero de dias con helada

Algunos de estos cambios podrían ser particularmente perniciosos. El aumento de la intensidad y frecuencia de las lluvias podrá causar erosiones con pérdidas de suelos agrícolas. Un calentamiento en las zonas de suelos helados "permafrost", liberaría grandes cantidades de CH_4 que aumentarían el calentamiento global.

El hecho que en el pasado se produjeron aumentos del contenido de CO_2 en la atmósfera del mismo orden de valor que el presente, no es comparable. Esas variaciones se produjeron gradualmente a lo largo de miles de años: 190 a 300 ppm en 12000 años y no en 100 como ocurre ahora. Las especies tuvieron tiempo para su adaptación, en ese largo período.

Algunas conclusiones

Muchos temas y afirmaciones merecerían una mayor profundización. Muchos otros no los he mencionado.

Pero la mayoría de estos problemas permanecerían en el reino de la especulación si no fuera por los avances tecnológicos en las más variadas disciplinas y por las mediciones precisas de multitud de parámetros que se hicieron posibles con esos avances.

La invención del transistor en 1948 y sucesivos progresos condujeron a la miniaturización de los circuitos electrónicos. Los equipos de comunicación y los computadores siguieron el proceso, con una radical disminución de volumen, peso y consumo de energía.

Ello permitió el advenimiento de los satélites de comunicación y de observación. De estos últimos hay actualmente 16 en operación. Junto con estaciones meteorológicas automáticas, boyas, globos sonda, etc., proporcionan informaciones meteorológicas y climáticas globales en forma abundante y virtualmente instantánea. Ya no se depende de la presencia ocasional de algún buque o avión, ni de lentas trasmisiones diferidas.

De cualquier modo se precisan aún más datos, durante períodos de tiempo más prolongados, mejores modelos, computadoras más potentes, conocimiento más completo de los procesos, causas y efectos que subyacen en los fenómenos climáticos.

Los nuevos instrumentos, satélites y computadoras son ya una certeza muy próxima felizmente.

Entre tanto se constata la lentitud de los avances en el cuidado del medio ambiente y en la conservación de los recursos, si bien la tecnología ya está disponible.

Las ineficiencias son flagrantes. Tanto en el uso de la energía como de las materias primas, sea en la industria, en la agricultura o en la actividad doméstica.

Existen fuertes barreras culturales y comerciales, intereses diversos a todos los niveles, que conducen al desperdicio inevitablemente.

La optimización de los recursos no podrá alcanzarse si no se sortean esas barreras.

Los avances en el reciclado de materiales no hallan eco. Se habla mucho mientras se tiran como desperdicios esos materiales.

Todavía es fuerte la costumbre de usar una vez y desechar. No existe una cultura de conservación de recursos.

Las energías alternativas son aún insuficientes y caras. En la mayoría de los casos la energía solar, virtualmente inagotable, sólo se aprovecha en 1 o/oo . Esta es la eficiencia de los procesos naturales también, por ejemplo la fotosíntesis clorofiliana.

La energía solar media incidente en los embalses del río Negro es 850 veces mayor que la energía media hidroeléctrica con ellos producida.

Las células fotovoltaicas de silicio, cuyo rendimiento es del orden del 10%, sólo tiene un uso mínimo, restringido por su elevado costo.

Los autos (y ómnibus) eléctricos o híbridos no encuentran aceptación.

Y sin embargo, la mejor razón para reducir la producción de gases de invernadero es la economía de recursos que son limitados y que resultan imprescindibles para atender el aumento de la población y de la calidad de vida.

En dos palabras: desarrollo sustentable.

ALGUNAS FUENTES DE INFORMACIÓN

La Houille Blanche - No. 1/90; No. 6/90

Cientific America - Set97; Jul97; Mar97; Oct96; Ago96.